

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

#2
Jc621 U.S. PRO
09/903732
07/13/01

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出願年月日

Date of Application:

2000年 7月14日

出願番号

Application Number:

特願2000-213587

出願人

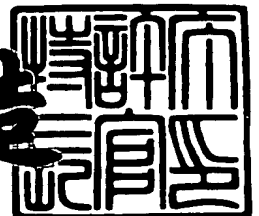
Applicant(s):

日本原子力研究所

2001年 4月20日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特2001-3034402

【書類名】 特許願

【整理番号】 001385

【提出日】 平成12年 7月14日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01S 1/00

【発明者】

 【住所又は居所】 京都府相楽郡木津町梅美台 8 丁目 1 番地 日本原子力研
 究所関西研究所内

 【氏名】 有澤 孝

【発明者】

 【住所又は居所】 京都府相楽郡木津町梅美台 8 丁目 1 番地 日本原子力研
 究所関西研究所内

 【氏名】 出来 恭一

【発明者】

 【住所又は居所】 京都府相楽郡木津町梅美台 8 丁目 1 番地 日本原子力研
 究所関西研究所内

 【氏名】 松岡 史哲

【特許出願人】

 【識別番号】 000004097

 【氏名又は名称】 日本原子力研究所

【代理人】

 【識別番号】 100089705

 【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目 2 番 1 号 新大手町ビル 2
 0 6 区 ユアサハラ法律特許事務所

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 社本 一夫

 【電話番号】 03-3270-6641

【選任した代理人】

 【識別番号】 100071124

【弁理士】

【氏名又は名称】 今井 庄亮

【選任した代理人】

【識別番号】 100076691

【弁理士】

【氏名又は名称】 増井 忠弐

【選任した代理人】

【識別番号】 100075270

【弁理士】

【氏名又は名称】 小林 泰

【選任した代理人】

【識別番号】 100096013

【弁理士】

【氏名又は名称】 富田 博行

【選任した代理人】

【識別番号】 100092015

【弁理士】

【氏名又は名称】 桜井 周矩

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 051806

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9706383

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 高出力短パルスレーザー光の発生システム

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 回折格子を用いることなく、固体や液体の非線形効果を利用して高エネルギーレーザーパルスを増幅し、圧縮して高エネルギー短パルスを得る事の出来るコンパクトなレーザー光の発生システム。

【請求項 2】 高エネルギー短パルスを得るために、以下の系を備える事を特徴とする請求項 1 記載のシステム。

1) ファイバーを用いることなくシリンドリカルレンズとプリズム列を組み合わせた半導体レーザー用コリメータシステムにより固体レーザーを高輝度で軸方向にポンプ（エンドポンプ）できる光学系、

2) 誘導ブリルアン散乱（SBS）により圧縮すると同時に波面補正も同時に実現できる短パルスのポンプレーザーを発生させる光学系、

3) 得られたポンプレーザー光を更に誘導ラマン効果（SRS）を用いて増幅すると同時に短パルス化をさせる光学系、及び

4) SRSにより短パルス化されたレーザービームを更に高周波を発生させることにより短波長化させると共に短パルスさせる光学系。

【請求項 3】 SBSで短パルスを発生させるために2つの異なるセル又は結晶を用いる事により余分なラマン散乱光の増幅を防止し、安定した短パルス化が出来るように配置することを特徴とする請求項 2 記載のシステム（タンデムSBSセル法）。

【請求項 4】 通常のレーザーと異なり原理的に熱的な吸収を伴うことなくレーザーパルスを増幅すると同時に圧縮する機能をSRSを用いて達成する請求項 1 記載のシステム。

【請求項 5】 SRSを光学損傷や自己収束によるチャネリングを防止しつつ発生させるために、ハーフウェイスト反射法やシードパルス導入法などを用いて誘導ラマンの発生閾値を大幅に低減させる方法を用いたレーザー光の発生システムであって、特にSRS発生の閾値を低下させるために以下の事を取り入れる事を特徴とする光学システム。

1) ラマン光の発生閾値が低く、光損傷閾値が高く、自己収束の起こりにくい光学パラメーターを有する非線形結晶を選定して用いる。

2) ラマン光の発生を容易にするために、レーザービームのハーフウェイストで結晶の出射側に反射体を設ける（ハーフウェイスト反射法）。

3) 二つの結晶を用い、一方で誘導ラマン散乱光を発振器として発生させシードとし別の結晶で増幅させる方法で従来のノイズ光からよりも低閾値で発生する（タンデムクリスタル法）。

【請求項 6】 パルス幅を短くするために二段以上のラマン圧縮を組み合わせる使用請求項 5 記載のシステム。

【請求項 7】 上記誘導ラマン効果を多段階で実現することにより高平均出力下においても熱的な歪みを発生せずに多段階に短パルス化できる請求項 5 記載のシステム。

【請求項 8】 上記で得られた短パルスビームの高周波を発生させることにより短波長化すると同時に短パルス化させるシステム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、下記のレーザーの実現、得られたレーザーによる微細加工、高輝度短パルス X 線分析及び医療等の分野における利用に関するものである。

【0002】

(1) 産業の現場で利用できる短パルス高ピーク出力レーザーの実現。

短パルス高ピーク出力レーザーが市販されてから 10 年以上も経つものの未だ産業用として現場で利用されたことはない。チタンサファイアレーザーを CPA (Chirped Pulse Amplification) 技術をベースに構築した従来型のレーザーでは、図 10①に示されるように、モードロックレーザー（及びポンプレーザー）、回折格子対パルス拡張器、再生増幅器（及びポンプレーザー）、主増幅器（及びポンプレーザー）、回折格子対パルス圧縮器によりなるシステムであるために、数 10.TW の高いピーク出力が得られるものの繰り返し数は 10 Hz 程度と低い。こうしたことから、装置が大きいこと、高価であること、調整が困難である

こと、長時間安定して使用できる信頼性が無いなどの問題があった。

【 0 0 0 3 】

一方、Y b ファイバーレーザーは、図 1 0 ②に示されるように、ファイバーモードロックレーザー、ファイバーパルス拡張器、ファイバー増幅器、ファイバー圧縮器よりなりコンパクトでMHz 級の繰り返し数は得られるものの、ファイバーの光強度耐力からパルス当たりの出力がm J を越えることが困難であり、産業利用が困難である。

【 0 0 0 4 】

こうした問題点を克服するために、大型で調整が困難な高価な回折格子の代わりに短パルス化を図るためにS B S (Stimulated Brillouin Scattering) セル (又は結晶) やラマン非線形結晶を用い、また、チタンサファイア結晶の代わりにラマンセル増幅器を用いて熱負荷を少なくして信頼性を得る等の工夫を講じた。

【 0 0 0 5 】

従来の方法における問題点を●で、また採用する方法の特徴を○で示す。

【 0 0 0 6 】

【表 1】

従来の方法の問題点を で、また採用する方法の特徴を○で示す。

機 能	手 法 の 比 較		特 徴
増 幅	レーザー結晶		●量子効率を越えられず熱負荷大
	非線形結晶		○熱吸収がほとんどないために熱負荷小
短パルス化	回折格子ペア		●極短パルス化には向くが大型で精密調整が困難
	SBS圧縮	シングルセル	●発生するSRSの増幅のため不安定性が増す
		タンデムセル	○ラマンシフトの異なる物質を利用するためにSRSの増幅を防止できる
	SRS圧縮	シングルクリスタル	●SRS発生の閾値が高く光学損傷受けやすい
		タンデムクリスタル	○シード光発生と増幅部との組み合わせで閾値低い
		フルウェイスト	○極短パルス化は困難であるがコンパクトに出来る ○ラマン閾値高い
		ハーフウェイスト	反射法 ○極短パルス化は困難であるがコンパクトに出来る ○ラマン閾値低い

【 0 0 0 7 】

(2) 本発明の医療分野等における利用。

- a) 非熱的精細加工：半導体や電子ガラスの超微細・精密加工用の光源
- b) 新機能顕微鏡：多光子顕微鏡の光源
- c) リソグラフィ用：超高集積度半導体生産用の光源
- d) X線蛍光分析装置：極微量元素の分析が可能
- e) 高輝度X線非破壊分析装置：低被曝線量の測定を可能にする光源
- f) 短パルスX線回折装置：超高速構造変化の計測用光源
- g) 歯科用X線撮影装置：低被曝線量の撮影を可能とする光源
- h) 歯科スケール除去装置：エナメル質に悪影響を与えずにスケールにみを除去するための光源
- i) 高精密X線撮像装置：高分解能X線投影用光源
- j) 滅菌装置：非浸襲局部滅菌用光源
- k) 脱毛・植毛装置：無痛手術用光源
- l) 汚染被膜、酸化被膜、メッキ膜ペイント類の除去：表面に損傷を与え

ることなく除去

【0008】

【従来の技術】

高ピーク出力の短パルスレーザーの発生には、従来よりCPA (Chirped Pulse Amplification) 法に基づき以下の方法が用いられているが、実用の面から以下の点で問題があった。

【0009】

(1) ファイバーチャープレーザー法

レーザー発振を通常のレーザーで行い、これをファイバーを用いてチャープパルス圧縮する方式には、Nd:YAGレーザー、Nd:ガラスレーザー、Nd:YLFレーザー等がある。また、直接ファイバーレーザーとして発振させ、ファイバーで圧縮するものには、Ybガラスを用いたYbファイバーレーザーがある。しかし、いずれも極度に細いファイバー中を高強度の光を通過させることから、光学損傷により出力が制限され、パルスエネルギーも1mJ程度である。

【0010】

(2) グレーティングチャープレーザー法

a) チタンサファイアレーザー (図10①)

CPA法を用いた代表的なレーザーであり、回折格子対を用いた手法は幅広く利用されているが、回折格子を設置するために、広いスペースや精密調整を必要とし高価となることから、一般産業には利用しにくい。また、発振器であるモードロックレーザー、再生増幅器なども精密な調整を必要とする機器であり、さらに、高平均出力を発生させる場合にはレーザー結晶から量子効率に対応する熱放出があるために結晶内の発熱による熱歪み効果を考慮する必要がある。

【0011】

b) 光パラメトリック短パルスレーザー (OPCPA: Optical Parametric CPA) チタンサファイアレーザーと比べて非線形現象を利用した増幅を利用するために、熱負荷は大巾に軽減できるが、依然として発振器としてのモードロックレーザーや回折格子対を用いたパルス拡張器、パルス圧縮器が必要である。また、光パラメトリック増幅を行う条件は厳しく容易に効

率よく光を発生できにくい等の問題もある。

【 0 0 1 2 】

【発明が解決しようとする課題】

上述した問題点を解決するために以下のような手法を用いる。

【 0 0 1 3 】

(1) 大きな回折格子対の代わりに超小型の非線形結晶を用いてパルス圧縮する。パルス拡張・圧縮には、スペースをとる精密調整が必要であることから高価となる問題があり、超小型の結晶を用いてパルスを圧縮することを考える。

【 0 0 1 4 】

(2) ファイバーの出力制限を遥かに越える高出力を実現する。

従来より、回折格子対ではなくファイバーを用いる方法があるが、細いファイバーに光を通過させるために光損傷が生じて高出力は得られない。そこで、結晶中の誘導ラマン散乱を利用した高出力に対応する短パルス発生光学システムを考える。

【 0 0 1 5 】

従来からラマン圧縮技術は存在するが、ラマン光を増幅するには通常ノイズレベルの極低い出力レベルより増幅するために極めて高いポンプ光を用いる必要があり、そのために、発生閾値は高くなり光学損傷が起こりやすかった。これを防止するために、特に、ラマン光発生閾値の高い結晶を用いる場合には新しくハーフウェイスト反射法及びタンデムクリスタル法を用いた。ハーフウェイスト反射法では結晶の出射側がウェイストの中央程度となるように調整し結晶端面にコーティングするか、ミラーを置くかにより散乱光を集め閾値を下げる。また、タンデムクリスタル法では一方の結晶で微弱なラマン光を発振器として発生させ、これをもう一つの結晶で増幅することにより全体としてラマン光発生閾値を大幅に低下させるとともに飽和増幅によりビーム変動を極小にする。

【 0 0 1 6 】

(3) 高出力の短パルスポンプ光を実現する。

ラマン散乱による短パルス化においては、短パルスの高出力ポンプレーザーの開発が不可欠である。このために、SBSを利用した短パルスポンプレーザーシ

システムを提案する。このシステムでは、タンデム S B S セル法を用いて 2 種類の S B S セルを利用する（タンデム S B S 法）。

【 0 0 1 7 】

一方の S B S セルから発生する強い短パルス光を安定して発生させるためには、同時に発生する S R S がシステムを循環することを防止しなくてはならない。このために、発生した S B S 光をさらに別の種類の S B S セルを通して増幅する。この際、物質の種類が異なるために第一セルで発生した S R S は第二セルでは増幅されない。

【 0 0 1 8 】

(4) レーザー媒質での増幅の代わりに熱負荷の遥かに小さいラマン結晶をにより増幅を実現する。

【 0 0 1 9 】

高出力レーザーでは熱負荷が最大の問題となる。通常のチタンサファイアレーザーなどにおいては量子効率に基づく損失があり、これが結晶中を熱として伝播し、高出力化の妨げとなる。ラマン増幅は短パルスラマン光を熱を伴わずに高効率で増幅できるためビームの品質を落とすことなく高出力化出来る。

【 0 0 2 0 】

(5) C P A に基づかない多段圧縮

C P A 法では、モードロックレーザーで一旦発生させたパルス幅を拡大して増幅し、最後に圧縮するため無駄が多いシステムとなっている。本発明のシステムでは数 1 0 0 ピコ秒のパルスよりスタートし、多段階でサブピコ秒を順次得ることで高い効率とコンパクト化が可能となる。多段圧縮ではフォノン寿命に相当する時間域にまで圧縮できるが、こうした非線形結晶の光学特性を十分に把握しておくことがまず必要となる。

【 0 0 2 1 】

【課題を解決するための手段】

本発明は、以下の点を発明の目的としたものである。

【 0 0 2 2 】

(1) 原理的に熱発生のない増幅システムによりコンパクトな高パルスエネ

ルギー出力短パルスレーザーを実現する。

【 0 0 2 3 】

(2) 熱歪みを発生した場合においてもラマン光発生により波面補正を自動的に実現できる。

【 0 0 2 4 】

(3) CPA法で用いられているパルス拡張器やパルス圧縮器のような大型で精密調整の必要な機器を用いることなくコンパクトなシステムで短パルス化を実現できる。

【 0 0 2 5 】

上記目的を達成するために以下の技術を開発した。

a) タンデムSBS法による誘導ブリルアン散乱効果を利用したサブナノ秒のレーザーパルスの圧縮

b) 誘導ラマン散乱効果を利用したフォノン寿命程度（サブピコ秒）の多段パルス圧縮

c) 誘導ラマン散乱効果を低減するためのハーフウェイスト反射法やタンデムクリスタル法によるシードパルス導入法。

【 0 0 2 6 】

上記技術を開発するために必要となる非線型結晶の光学データは従来取得されていなかった。このため、光学損傷限界、自己収束によるチャネリングを発生しない限度内での強いレーザー場において、光学散乱が発生するポンプレーザーの閾値強度を実験で見出すことにより達成した。

【 0 0 2 7 】

即ち、本発明は、

1) 従来のように損失の大きいファイバーを用いることなく、半導体レーザーをシンドリカルレンズからなるシンドリカルテレスコープとプリズムを組合せたりシェーピングプリズム光学系とにより並行ビームを形成し、並行ビームをコリメータレンズにより集光して高強度の光で固体レーザー媒質をポンプ（励起）するための固体レーザー励起機構、

2) 該機構を組み込んで構成された励起レーザー光発振器、

3) 該機構を組込んで構成されたレーザー光増幅器、及び

4) 2つの異なる物質からなる集光光学素子セルが配置され、誘導ブリルアン散乱 (SBS) 効果により短パルスレーザー光を発生させるSBSパルス圧縮器から主として構成された、短パルスポンプレーザー光発生装置であり、発振器からの励起レーザー光を前置増幅器に導入して増幅後、増幅された光をSBSパルス圧縮器に導入し、得られた短パルスレーザー光を再度前記前置増幅器に導入して増幅した後、他の前置増幅器に導入して増幅し、更に主増幅器で増幅することにより短パルス化され、且つ増幅されたレーザー光を得る装置である。

【0028】

又、本発明は、

a) 上記装置で得られた短パルスポンプレーザー光を集光光学系で集光してラマン結晶に導入後に反射体で反射させてラマン結晶中でフォノン格子を形成させて超短パルス増幅レーザー光を得る機構、

b) 該機構を組込んで構成されたラマン光発振器、及び

c) 該機構を組込んで構成されたレーザー光増幅、圧縮器から主として構成された超短パルス増幅レーザー光発生装置であり、短パルスポンプレーザー光をポンプレーザー光増幅器に入射して増幅後、ラマン発振器をポンプし、ラマン発振器から出た光をラマン増幅器に導入して増幅し、第一ストークス光でポンプされた他のラマン増幅器に入射して増幅後、極短パルス増幅ラマンレーザー光として出力する装置、更に

d) 当該機器を組込んで構成された高調波を発生すると同時にパルスを圧縮して出力する装置である。

【0029】

【発明の実施の形態】

上記目的を達成するための具体的手段としては次のものがあるが、ここに示したものは本発明の原理を実現するための一例である。

【0030】

(1) 短パルスポンプレーザー光の発生について

コンパクトな装置を構築するには、出来るだけ均一な分布を持つ高強度の光で

固体レーザーを励起できるように半導体レーザー光を集光する必要がある。このために、広い面から発振し、しかも縦と横方向に異なるビーム広がりを持つ半導体レーザーアレーからの光を集光するシステムが必要である。そこで、図1に示されるとおり、半導体レーザーアレーからの光が、凹凸形状のシリンドリカルレンズからなるシリンドリカルテレスコープ（望遠鏡）とプリズム列を用いたリシェーピング光学系とにより並行ビームを達成し、最後に通用のコリメータレンズにより高強度に集光されて固体レーザー媒質（Nd : YAG）をポンプ（励起）する。これは従来のエンドポンプとは異なり、ファイバーを用いることなく直接ポンプすることを特徴とする。

【0031】

これを用いて、図2に示されるとおり、いずれも軸方向励起の出来る発振器及び増幅器を構成する。従来の横方向ポンプに比べて発信レーザービームの質を良くできるし、また、半導体励起光が固体レーザーの光軸を邪魔しないように配置がなされている。この様にして、コンパクトに高品質の固体レーザービームが得られる。発振器においては短パルス化のために過飽和吸収体が配置されている。

【0032】

即ち、図2の前記発振器及び増幅器においては、半導体レーザー1からの光が、前記テレスコープ及び光学系からなるビーム分配装置2により集光され、共振器ミラー3を経てレーザー結晶4に導入され、コンパクトに高品質の固体レーザービームが出力カップラー5から得られる。この際、発振器においては、前記結晶と前記カップラーとの間に過飽和吸収体6及び望遠鏡7が配置される。

【0033】

又、SBSによる短パルス発生器（SBSパルス圧縮器）は、2つのSBSセルより構成されている。図3に示されるとおり、奥にあるセルにレーザー光を集光させて回折格子を生成させ短パルス化を図る。反射された光は後から来るレーザー光を集めて圧縮させるために手前にもう一つのセルを配置する。2つのセルは異なる物質から構成されており（例えば、 SnCl_4 と TiCl_4 等）強い光の中で奥のセルで発生するSRS光が手前のセルで増幅してシステムを不安定にしないように異なるラマンシフトを有する物質を用いる。

【 0 0 3 4 】

即ち、図 3 の S B S パルス圧縮器においては、入射パルス 1 は、集光光学素子 2、S B S セル A 3 及び集光光学素子 4 を経て S B S セル B 5 に集光され、そこで反射された光が後から来るレーザー光をセル 3 において圧縮することにより、短パルスレーザー 6 が得られる。

【 0 0 3 5 】

これらの要素（主として発振器、増幅器及び S B S パルス圧縮器）を組み上げて図 4 に示される短パルス光学システム（装置）とする。システムは、効率よくエネルギーが引き出せるように、エネルギーを十分に飽和できるための増幅器要素が配置される。この出力光（短パルスポンプレーザー光）はラマン増幅・圧縮器システムをポンプするために用いられる。

【 0 0 3 6 】

このシステムにおいては、図 4 に示されるように、半導体レーザー励起の全固体レーザー発振器（7）内には、過飽和吸収体が挿入されており、半導体レーザーによるポンプによりレーザー光 1 が数 ns で得られる。光はビームスプリッター（13）で反射され 2、前置増幅器（12）に入る 3。増幅された光 4 は S B S パルス圧縮器（10）に入り 5、短くなったパルスが反射される 6。再度前置増幅器（12）に入り 3 増幅された光 4 はビームスプリッター（14）により反射され 7、パルス幅はサブナノ秒となる 8。さらに前置増幅器（6）に入射・増幅され 9、ビームスプリッター（15）により反射され増幅される 10。さらに、主増幅器（3）に入り増幅された光 11 はミラー（1）で反射され 12、再度主増幅器を通過し 13、サブナノ秒（数 100 ピコ秒）の短パルスポンプレーザー光がビームスプリッター（16）により取り出される 14。

【 0 0 3 7 】

（2）ラマン増幅・圧縮器による極短パルス増幅レーザー光の発生について

主たる問題は結晶の損失なしに S R S 閾値を得ることである。問題はウエイスト部の結晶反射面でのビーム直径は十分小さくなくてはならない。問題はラマン発振器のウエイスト部の結晶反射面でのこの回折距離はパルス幅伝搬距離の 1 / 2 以下でなくてはならない。この場合にのみ、入射するレーザー光と結晶中に誘

起された前方に移動する回折格子との相互作用が可能となり、後方散乱ストークス光の増幅と圧縮とが有効に行われる。後方散乱ストークス光のシード光は、ラマン増幅器末端に設置された反射鏡による反射ビームによって生起する後方散乱ストークス光によりシードされる。

【 0 0 3 8 】

即ち、図 5 に示されるように、ラマン発振器（ラマン増幅・圧縮器）においては、上記（1）で発生された短パルスポンプレーザー光が集光光学系で集光されてラマン結晶に導入され、反射体で反射され、再度結晶に入射されて反射型回折格子を形成後極短パルス増幅ラマンレーザー光が取り出される。

【 0 0 3 9 】

ここでの問題は如何に S R S 閾値を低くするかという事である。S R S 結晶として CaCO_3 , LiNbO_3 , KGdWO_4 を用いて前方ラマン散乱光を発生させるのは容易であるが、後方散乱を発生させるには結晶損傷を起こさないように注意を要する。

【 0 0 4 0 】

これを解決するには補助結晶中のラマンシードを利用することである。この場合、通常のラマン光発生のように SRS を自然ノイズからスタートさせる必要はないために、50～60 程度の高いゲインを得ることが可能となる。この様にし通常のラマンに比べて閾値を大幅に低下できる。具体的には S R S を励起するために 2 個の結晶を用いる。まず第一の結晶で前方散乱 S R S を励起しこれをシードとし第二の結晶で後方散乱 S R S を励起する。

【 0 0 4 1 】

ラマン発振器で発生した短パルス光を数段のラマン増幅器で増幅するシステムを利用することにより光学的な損傷を防止する。発生したストークスシフトしたストークス光は第一結晶を通過しポンプ光として第二段目のラマン結晶をポンプするために使用する。

【 0 0 4 2 】

ラマン発振器と 2 個の増幅器によるストークス光を用いたラマン圧縮・増幅器のシステムを説明する。サブナノ秒（数 300 ピコ秒）のパルス幅を有する短パ

ルスポンプレーザー光は固体レーザー基本波の波長を有するが、これを結晶よりなるラマン増幅・圧縮器に導入し、パルス圧縮を行うと同時に増幅を行う。もちろんこの基本波の第2、第3高調波をポンプレーザー光とすることもできる。

【0043】

図6に示されるとおり、短パルスポンプレーザー光1はポンプレーザー光増幅器(5)に入射し2、増幅され3、ポンプ光分配器(8)にて一部が反射される。透過した光4は水平偏光5としてラマン発振器(10)をポンプ6する。ラマン発振器から出た光は、パルス幅20psとなり、元のポンプ光に比べて10分の1以下に圧縮され、ラマン増幅器1(12)に向かう。

【0044】

一方、ポンプ光分配器(8)で反射された光は逆に進み6、ビームスプリッター(3)にて反射7されてラマン増幅器(12)をポンプ8する。ポンプに寄与しなかった光は通過して9第一ストークス光のみを透過するビームスピリッター(2色性ミラー)(14)に向かい10、これにより反射され第2ラマン増幅器(15)をポンプ11する。

【0045】

発振器からの第1ストークス光は第1ラマン増幅器(12)により増幅され、さらに、時間遅延を考慮しながら第2ラマン増幅器(15)に入射され増幅される。増幅された光は、第1ストークス光だけを通過させるビームスピリッター(14)(2色性ミラー)を通過して出力(極短パルス増幅ラマンレーザー光)する。この出力光は同様にしてさらに第2段目のラマン圧縮器において同様の圧縮を経てサブピコ秒にまで短くなる。

【0046】

【実施例】

(実施例1) S B Sパルス圧縮光学データの取得

二個のセルを用いてS R Sを防止しながらS B S圧縮を行った。2パスの増幅特性により2パスのゲインは2.3であった。図7に示されるように、先に示したポンプレーザーの配置を用いた場合、集光系の焦点距離を $f = 15 \text{ mm}$ としたときのパルス幅は半値幅で320psであった。

【0047】

(実施例2) ラマン増幅・圧縮光学データの取得

図8に示される、 $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ のSRS閾値を集光レーザービーム($d_L \sim 300\text{ mm}$, $t_L = 2.5\text{ ns}$, $f = 100\text{ Hz}$)を用いてハーフビームウエイスト部にミラーを配置したビームウエイスト反射法の配置で測定した結果、 $E_{th}/t_L = 390\text{ mJ}/2.5\text{ ns} = 150\text{ kW}$ 得た。これから、ゲイン g を、励起強度を変えて求めると $g \sim 10\text{ cm/GW}$ を得た。まず、 100 ps 程度のポンプパルス圧縮することを考えレーザービームを結晶出口でハーフビームウエイストとなるように設置する。自己収束によるチャンネリングにより結晶出射面の反射コーティングは損傷を受ける事が考えられるが、その損傷強度は与えられたパルス幅においては $2 \sim 2.5\text{ GW/cm}^2$ 程度である。

【0048】

従って、この値以下となるように光学設計を行う必要がある。 $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ のこの様な設定におけるSRS閾値は $P_{th} \sim 27 \sim 30\text{ kW}$ であった。得られる増倍率は $M \sim 40$ となる。反射面でのレーザービーム断面積は $A_{min} = P_{th}/I_{dam} = 12.7 \times 10^{-6}\text{ cm}^2$ (直径で言えば $40\text{ }\mu\text{m}$)よりも大きくなくてはならない。この直径における回折長は $l_f = k d^2/4 = 4\text{ mm}$ となる。従って結晶長は、 $L_{min} = c t_L/2n = 20\text{ mm}$ よりも長くなくてはならない。圧縮比は光学損傷を受けない限界で $L_{min}/l_f \sim 5$ となる。

【0049】

CaCO_3 について同様にして求めると、ウエイストでの直径は $d = 100\text{ mm}$ であり、回折長は $k d_f^2/4 \sim 2.5\text{ cm}$ となり 5 cm の結晶長に比べて半分の長さとなる。実験の結果、SRS閾値は $E_{th}/t_L = 450\text{ mJ}/2.5\text{ ns} = 180\text{ kW}$ となった。 CaCO_3 は $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ に比べて損傷強度 I_{dam} は $12 \sim 15$ 倍大きい P_{th} は6分の1である。従って、 100 ps 程度のポンプパルス光に対しては結晶出射面での最小直径 $d_{min} \sim 25\text{ mm}$ となる。また、ビーム直径が $\sim 1.6\text{ mm}$ の場合には $L_{min}/l_f = 10 \sim 12.5$ となる。すなわちこれがパルス圧縮率となる。

【0050】

SRS結晶として KGdWO_4 を25psのパルス幅でポンプした場合には特に集光しなくても前方SRSの発生を $g = 4 \text{ cm/GW}$ ゲインで容易に観測することが出来た。

【0051】

【表2】

元のレーザーパルス3ns圧縮例を示す

圧縮段	結晶	ポンプ光波長	ラマン光波長	ラマン発生閾値エネルギー	パルス幅	ビーム径／焦点距離比
1 段目 (SBS)	SnCl_4	1064	1108	1mJ	320ps	1:20
2 段目 (SRS)	$\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$	1108	1254	0.16mJ	20ps	1:20

【0052】

(実施例3) レーザーシステムによる短パルス化

半導体レーザー励起の全固体Nd:YAGレーザー発振器内に、Cr:YAG結晶を過飽和吸収体として挿入し、100W、300 μs の半導体レーザーにより600 μJ のレーザー光を3nsのパルス幅で得た。この光を第1前置増幅器で増幅した後に、SBSパルス圧縮器において0.3ns程度に圧縮したパルスを再度第1前置増幅器で増幅し1.5mJをパルス幅0.35nsで得た。さらに第2前置増幅器で増幅し、6mJのパルスエネルギーで0.32nsのパルス幅を得た。最後に1200Wの半導体レーザー(120A、300 μs 、100Hz)の主増幅器により4パス増幅し、0.3nsのパルス幅で32mJの短パルスポンプ光を得た。

【0053】

次に、この短パルスポンプレーザー光(1061nmの波長)を CaCO_3 結晶よりなるラマン増幅・圧縮器に導入した。短パルスポンプ光はビームスプリッターにて55%だけが反射されるが、透過した光はラマン発振器をポンプし、図9に示されるように、パルス幅20ps、出力0.2mJの第1ストークス光を発生する。これは元のポンプ光に比べて1/15程度に圧縮されることになる。さらにラマン増幅器によりストークス光(1203nm)は第1ラマン増幅器により増幅され2mJとなる。さらに、第2ラマン増幅器で7.8mJに増幅され

た光は第 1 ストークス光だけを通過させる 2 色性ミラーを通過して出力する。結果的には第 1 段圧縮では 7. 8 m J が得られ、効率は 4 5 % 程度である。パルス幅は最小 6. 8 p s であった。この出力光は同様にしてさらに第 2 段目のラマン圧縮器において同様の圧縮を経てサブピコ秒にまで短くできる。

【 0 0 5 4 】

【発明の効果】

(1) 本発明による産業用コンパクト短パルス短波長レーザーの実現

前述したとおり、短パルス高ピーク出力レーザーの利用は強く叫ばれている。上述した非線形効果を利用したレーザーシステムでコンパクト化や長期信頼性を図ることが出来る。

【 0 0 5 5 】

本発明の装置をコンパクトで商品質の短パルスレーザーとするには、例えば、既に開発したリング型増幅固体レーザー（特許出願中）を増幅器として S B S パルス圧縮発振部を増幅し、これをラマン増幅・圧縮システムに導き高出力コンパクト短パルスレーザーを構築することができる。

【 0 0 5 6 】

また、高ピーク出力という特性を生かして高輝度・短パルスでの高周波や X 線を発生できるので、新規な光源を提供できる。

【 0 0 5 7 】

(2) 本発明の用途

1) 基本波を利用した産業利用

加工や多光子顕微鏡の光源としての利用が期待される。

【 0 0 5 8 】

a. 熱的精細加工の光源：高品質の m J 級高繰返しピコ秒級短パルスレーザーにより 1 平方センチメートル当たり 1 兆ワット以上の光を集光することによって、周辺に熱的な影響を及ぼさない加工を実現することが可能となる。これは、半導体産業における微細加工にとってとりわけ重要な技術となる。また、半導体産業や液晶産業、さらにはプラズマディスプレイ産業などにおけるガラスの超微細加工等に大きく貢献する技術となる。特に電子ガラス等の加工に関し

ては超高出力レーザー光がガラス中において自己収束する効果を利用した精密加工が可能となる。さらにラマンレーザーではラマン結晶の種類によるラマンシフト量や高周波による短波長化を利用して加工に適した波長を選定できる。

【 0 0 5 9 】

b. 多光子顕微鏡の光源：高いピーク出力のため多光子効果が著しくなるために、特定の状態にある原子や分子を観察できる多光子顕微鏡の光源として利用できる。

【 0 0 6 0 】

c. 高ピーク出力レーザーによる表面汚染物質の除去効果を利用した、腐食被膜、酸化被膜、メッキ膜、放射性物質汚染被膜、美術品表面汚染被膜、ペイント等の表面からの除去。表面に損傷を与えずに除去できる。

【 0 0 6 1 】

2) 高調波を利用した産業利用

a. リソグラフィー周光源：安定な紫外レーザービームはリソグラフィーの分野では半導体生産に利用されている。現在、エキシマレーザーが利用されている。この様なガスレーザーは有毒ガスを用いることや信頼性などにおいてさらに改善すべき点が多い。短波長レーザー光は高い強度を有するために、非線形結晶により高い非線形効果を誘起出来るために高効率で安定した紫外光を発生できる。

【 0 0 6 2 】

3) X線を利用した産業利用

高ピーク出力レーザーを物質に照射することによりプラズマ化し、その際発生するプラズマX線や原子の内殻励起に伴う輝線X線を利用するなどして以下のような技術に利用できる。

【 0 0 6 3 】

a. X線蛍光分析装置：従来の電子ビーム衝撃型に比べて高輝度のX線を発生できるために極微量元素の分析が可能となる。

【 0 0 6 4 】

b. X線非破壊分析装置：従来のX線管に比べてスポット径が著しく

小さくなるために高分解能の分析が可能となる。

【 0 0 6 5 】

c. X線回折装置：従来は放射光などを用いていた分析が超小型で可能となる。

【 0 0 6 6 】

4) 医療利用

レーザーを用いた技術開発は、非侵襲の診断や治療の他短パルスのために無痛治療が可能となる。

【 0 0 6 7 】

a, 歯科用X線撮影：従来の歯科用X線撮影では外部にX線源があるために撮影時間がかかり被爆量が多いほか、分解能が悪いために、歯根虫歯の進行状況を正確にみることに困難がある。この様な欠点を回避できるX線源として利用できる。

【 0 0 6 8 】

b, 歯科スケール除去：歯のエナメル質の上に付着したスケールをエナメル質とは自動的に区分してアブレーション除去できる。

【 0 0 6 9 】

c, 高精密X線撮像：ピンポイントの集光点からX線を発生できるために高い空間分解能で毛細血管などの動きを撮像できる。

【 0 0 7 0 】

d. 滅菌：水虫などの菌種をレーザーにより除去したり、皮膚上に塗布した金属に短パルスレーザーを照射することによりX線で滅菌を行う。

【 0 0 7 1 】

e, 脱毛・植毛：現在でもレーザー脱毛が行われているが、全く無痛の脱毛が可能となる。また、毛根を植毛するための孔を無痛で皮膚上に構成し植毛を行うなど新しい利用が可能となる。

【 0 0 7 2 】

f, 角質除去：美容目的で顔面の小触の除去に利用できる。

g. 表面汚染除去：汚染物、メッキ、ペイントでおおわれた物体の表

面汚染のみを除去する。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明で使用されるレーザー媒質を励起する機構を示す図である。

【図 2】 本発明で使用される上記冷氣機構を備えた発振器、増幅器を示す図である。

【図 3】 本発明で使用される S B S パルス圧縮器を示す図である。

【図 4】 本発明の励起機構、発振器及び増幅器を組み込んだ短パルスポンプレーザー光を発生させる装置を示す図である。

【図 5】 本発明で使用されるラマン増幅、圧縮器を示す図である。

【図 6】 本発明で使用される、短パルスポンプレーザーから高パルスエネルギー出力短パルスレーザー光を発生させるためのラマン増幅、圧縮器を使用した装置を示す図である。

【図 7】 半導体レーザー集光直径 $400\mu\text{m}$ の場合の特性及びそのパルス幅の計測結果を示した図である。

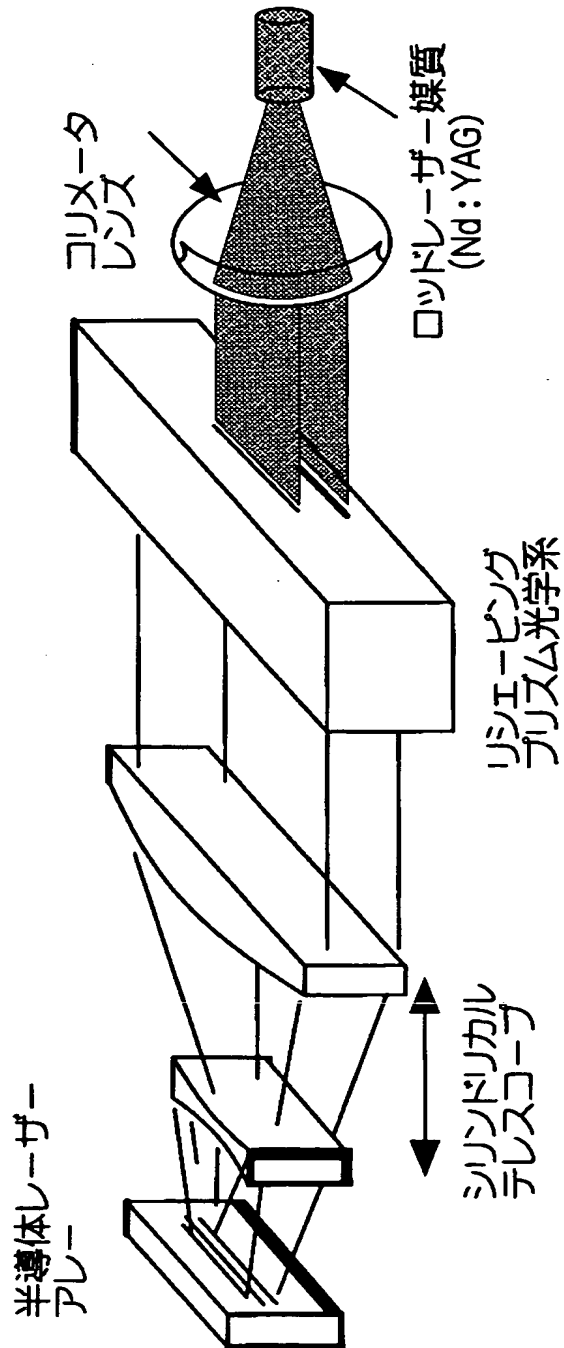
【図 8】 半導体レーザーポンプ Nd : YAG レーザーを使用したラマン増幅、圧縮光学データを得るための機構を示す図である。

【図 9】 本発明により得られた超短パルス増幅レーザーのパルス幅を示す図である。

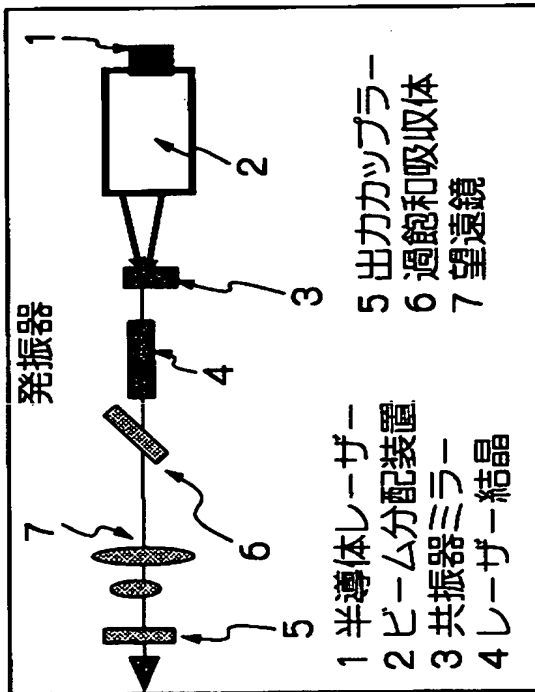
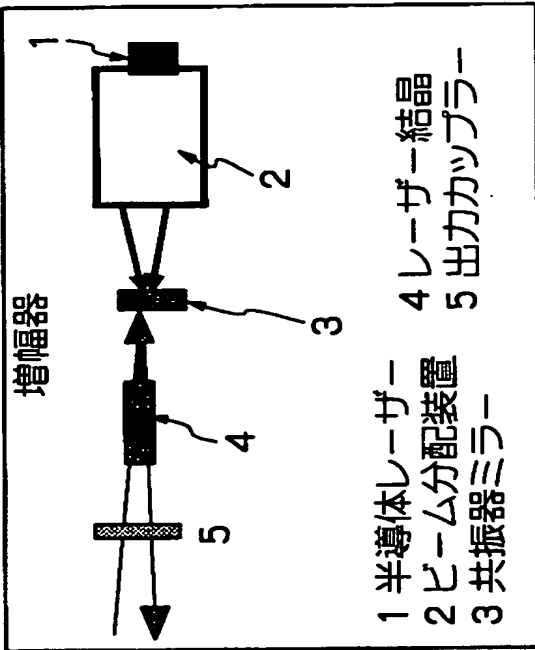
【図 10】 従来の高出力短パルスレーザーを発生させる機構を示す図である。

【書類名】 図面

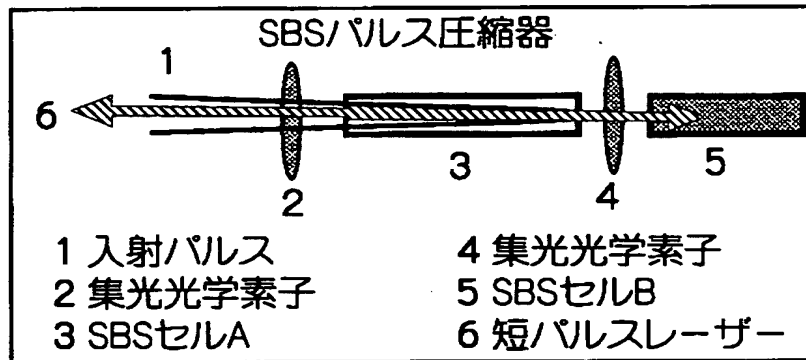
【図 1】



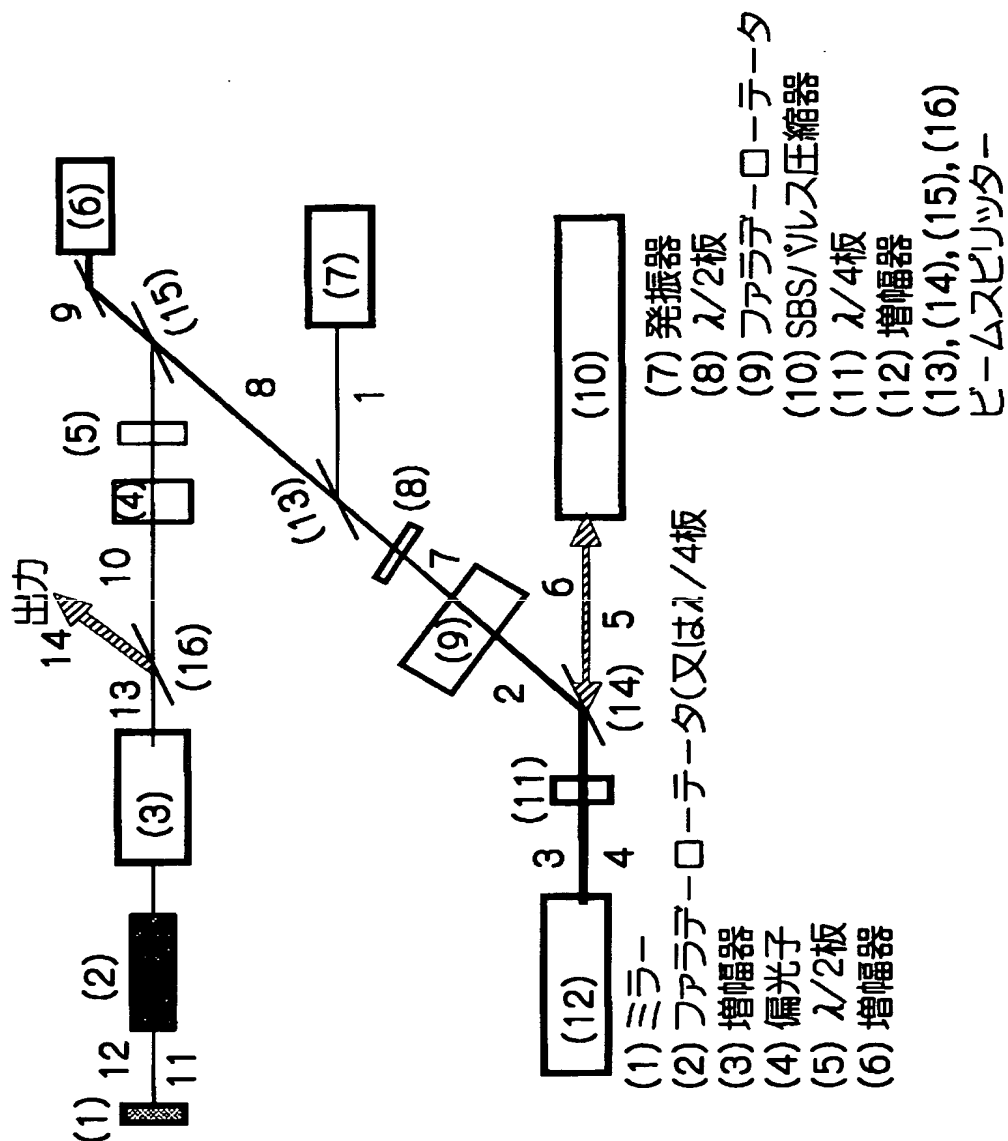
【図 2】



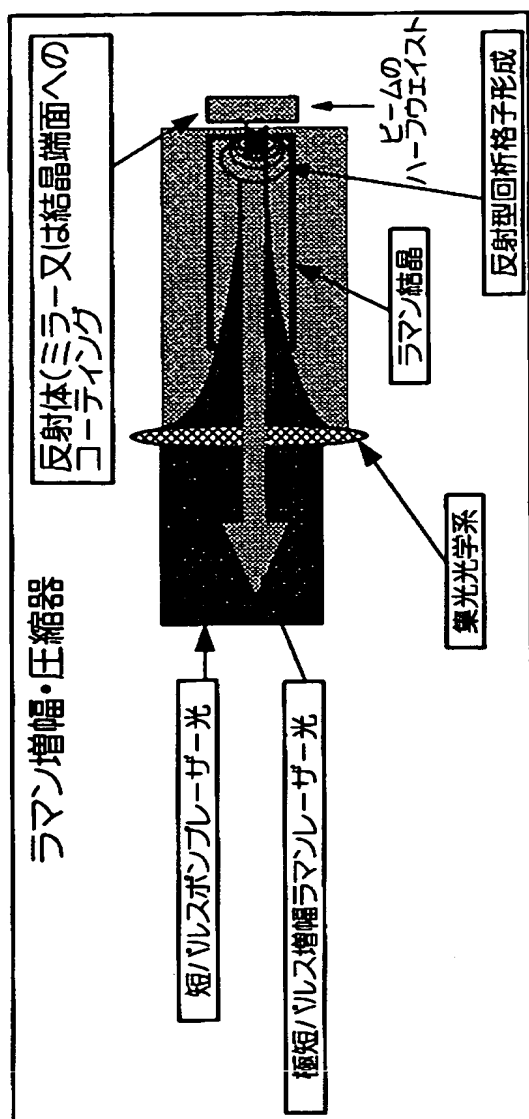
【図 3】



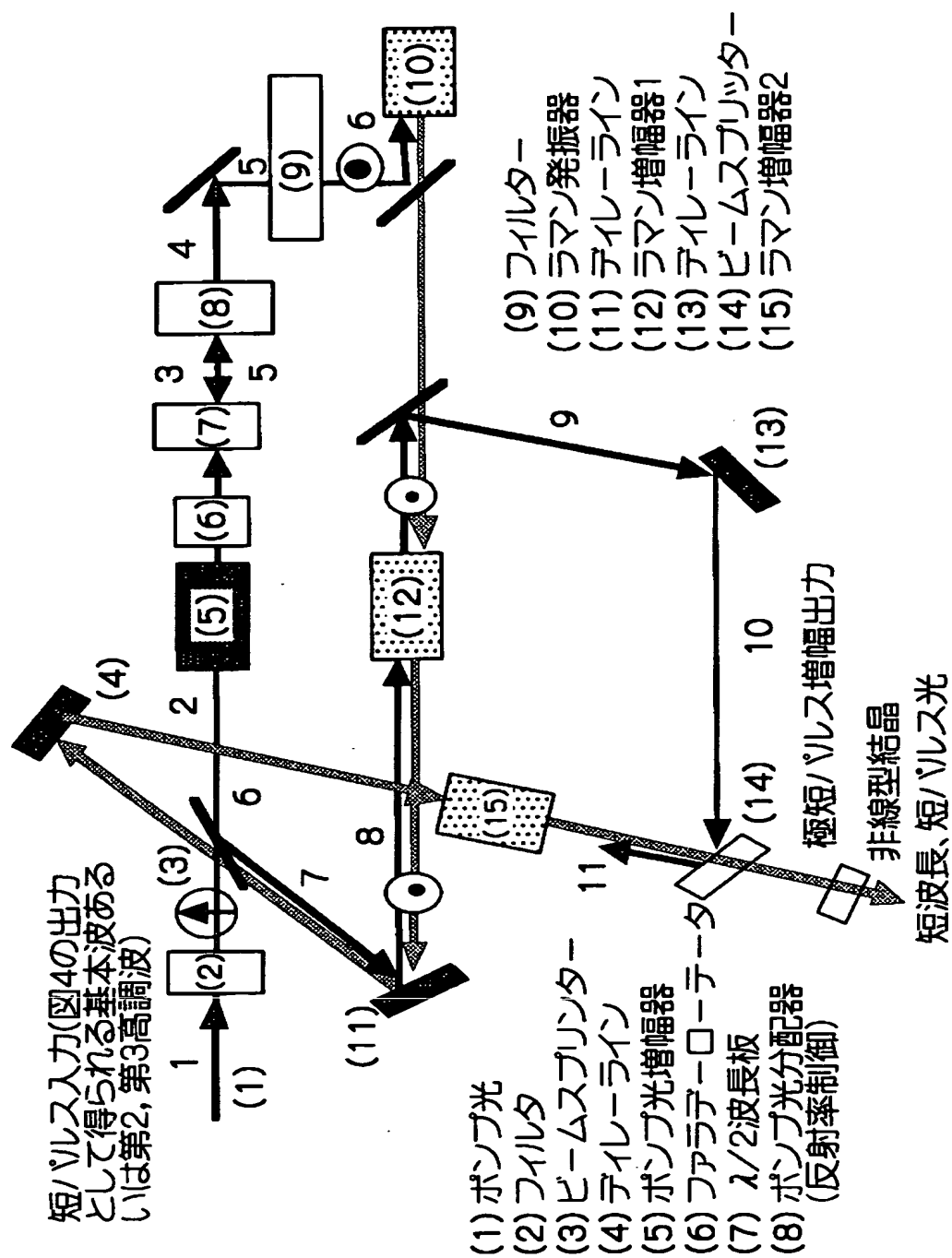
【図 4】



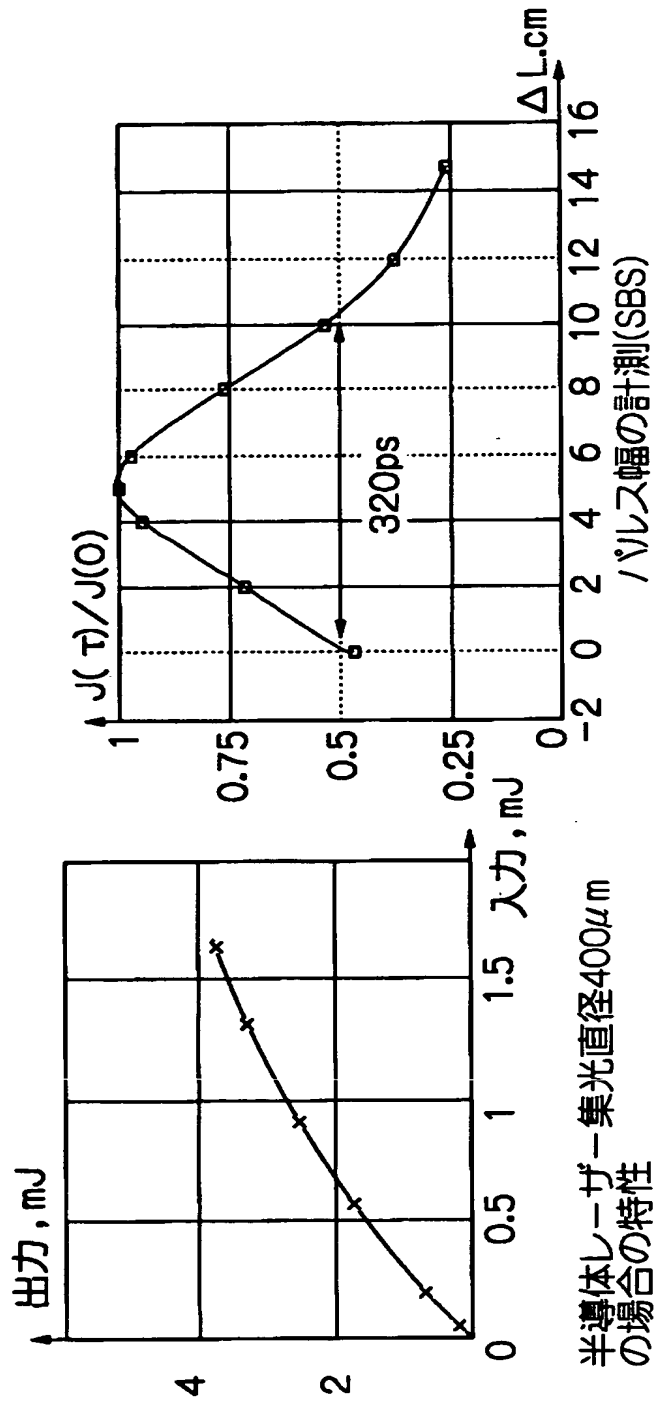
【図 5】



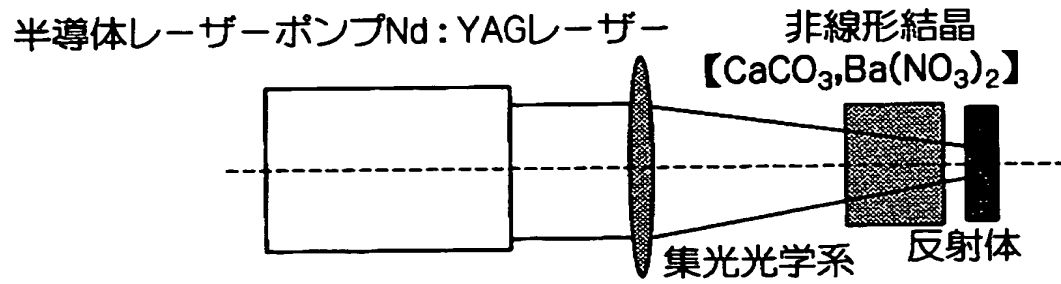
【图 6】



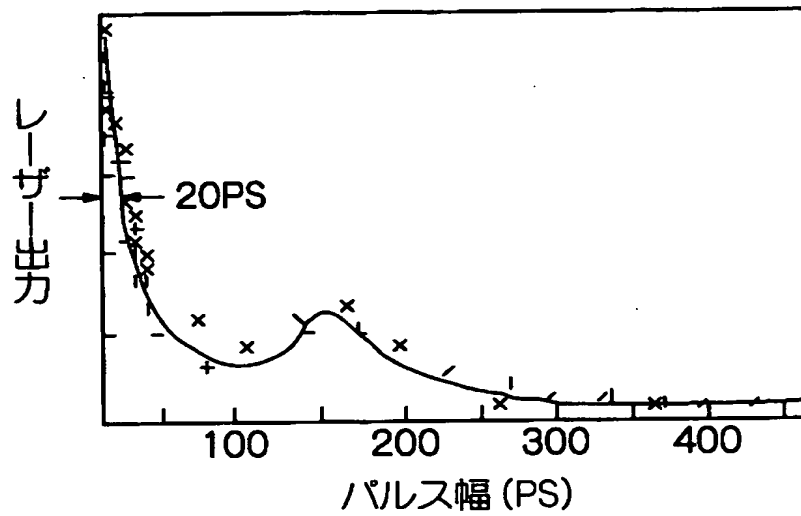
【図 7】



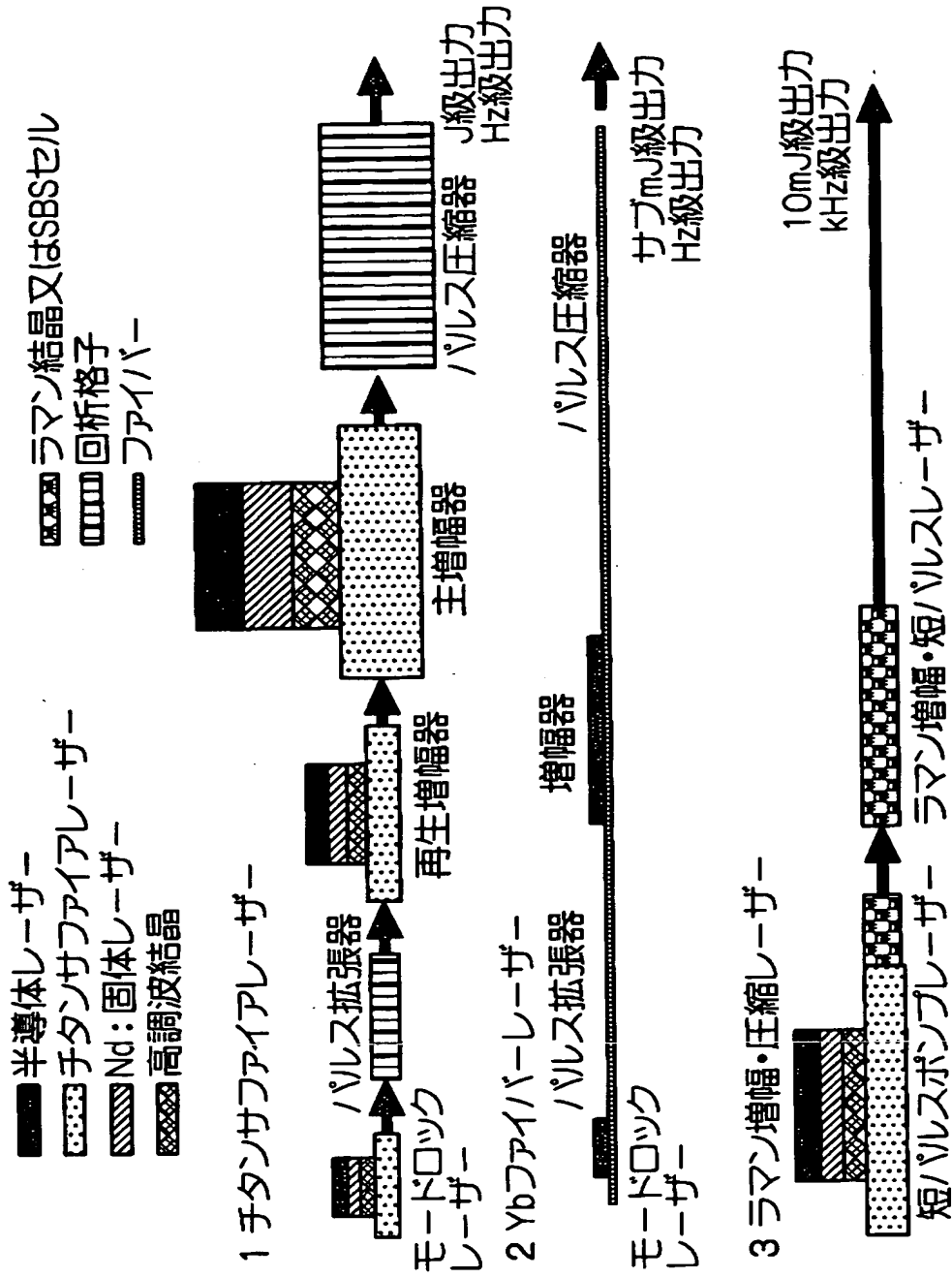
【図 8】



【図 9】



【図10】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 本発明は、以下の点を発明の目的としたものである。

(1) 原理的に熱発生のない増幅システムによりコンパクトな高パルスエネルギー出力短パルスレーザーを実現する。

(2) 熱歪みを発生した場合においても波面補正を自動的に実現できる。

(3) CPA (Chirped Pulse Amplification) を実現するためにパルス拡張器やパルス圧縮器のような大型で精密調整の必要な機器を用いることなくコンパクトなシステムで短パルス化を実現できる。

【解決手段】 上記目的を達成するために以下の技術を開発した。

(1) タンデム SBS 法による誘導ブリルアン散乱効果を利用したサブナノ秒のレーザーパルスの圧縮システム

(2) 誘導ラマン散乱効果を利用したフォノン寿命程度 (サブピコ秒) の多段パルス圧縮システム

(3) 誘導ラマン散乱効果を低減するためのハーフウェイスト反射法やタンデムクリスタル法によるシードパルス導入法。

(4) 第 2、第 3 高周波の発生による短パルス化を組み入れたパルス圧縮システム。

上記技術を開発するための光学データは従来取得されていなかった。このため、光学損傷限界、自己収束によるチャネリングを発生しない強いレーザー場において、光学散乱が発生するポンプレーザーの閾値強度を実験で見出すことにより達成した。

【選択図】 図 6

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000004097]

1. 変更年月日 1990年 8月16日

[変更理由] 新規登録

住 所 東京都千代田区内幸町2丁目2番2号

氏 名 日本原子力研究所